全混合日粮粗饲料水平对奶牛的挑食行为、瘤胃内容物及血清指标的影响

姜富贵[1, 2, 3]　林雪彦[1]　闫振贵[1]　侯秋玲[1]　王　云[1]　胡志勇[1]　王中华[1*]

（1.山东农业大学动物科技学院，泰安　271018；2.山东省农业科学院畜牧兽医研究所，济南　250100；3.山东省畜禽疫病防治与繁育重点实验室，济南　250100）

摘　要：本试验旨在研究全混合日粮粗饲料水平对奶牛挑食行为、瘤胃内环境及血清指标的影响。选用 12 头泌乳中期[泌乳时间（119±26） d]经产荷斯坦奶牛[体重（629±46） kg]，随机分为 4 组，每组中 1 头安装瘤胃瘘管，按 4×4 拉丁方设计，饲喂粗饲料水平分别为 40%、50%、60%和 70%（干物质基础）的 4 种全混合日粮。共进行 4 期动物试验，每期试验 21 d。结果表明：饲粮粗饲料水平对奶牛挑食行为有显著（P<0.05）或极显著（P<0.01）影响。饲粮粗饲料水平为 40%时，奶牛喜食粒度≥4 mm 饲粮，厌食粒度<4 mm 饲粮，但饲粮粗饲料水平>40%时，奶牛喜食粒度<4 mm 饲粮，厌食粒度≥4 mm 饲粮。饲粮粗饲料水平对瘤胃内容物各层粒度分布无显著影响（P>0.05）。随饲粮粗饲料水平的增加，瘤胃液外流速度和瘤胃固相外流速度显著线性增加（P<0.05），瘤胃内容物重量和瘤胃液体积无显著变化（P>0.05）；血清胰岛素样生长因子-1（IGF-1）含量显著线性增加（P<0.01），瘦素（LEP）和非酯化脂肪酸（NEFA）含量有线性增加趋势（0.05≤P<0.10），血清生长激素（GH）和胰岛素（INS）含量有线性降低的趋势（0.05≤P<0.10）。综上所述，饲粮粗饲料水平是影响奶牛挑食行为、瘤胃内容物及血清指标的重要因素。

关键词：奶牛；粗饲料水平；挑食行为；瘤胃内容物；血清指标[1]

中图分类号：S823　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

收稿日期：2018-02-20
基金项目：国家自然科学基金（31572427，31372340）；国家现代农业（奶业）产业技术体系（CARS-37）；山东省牛产业技术体系（SDAIT-12-011-06）
作者简介：姜富贵（1988—），男，山东泰安人，博士，从事反刍动物营养生理研究。E-mail: fgjiang2017@163.com
*通信作者：王中华，教授，博士生导师，E-mail: zhwang@sdau.edu.cn

全混合日粮（TMR）饲喂技术已广泛应用于我国大中型奶牛场，该技术的重大意义之一是其有效降低传统饲喂方式中存在的挑食行为，进而为瘤胃微生物提供稳定、均衡的养分，优化瘤胃机能，提高养分利用效率[1]。但一些研究发现，TMR 饲喂奶牛过程中，仍存在挑食短颗粒饲粮的现象[2-4]。李继伟等[1]通过对 30 个泌乳牛群摄入养分偏离原因分析发现，奶牛挑食行为是引起摄入养分偏离的重要原因之一。挑食行为易引起奶牛瘤胃发酵模式的紊乱，降低生产性能[5]，造成奶牛采食过多的精料和较低的有效纤维，进而增加奶牛亚急性瘤胃酸中毒（subacuteruminal acidosis；SARA）的风险[6-7]。

目前，大多数文献主要通过改变粗饲料的来源和粒度来研究 TMR 对奶牛挑食行为的影响。Leonardi 等[2]研究发现，长粒度 TMR 增加奶牛挑食行为，而粗饲料来源对挑食行为无显著影响。其他相关研究也发现类似结果[2,4,8-11]，但 Bhandari 等[12]认为，TMR 粒度对挑食行为没有显著影响。相比之下，国内外有关 TMR 中粗饲料水平对奶牛挑食行为影响的研究较少，Devries 等[13]发现，饲喂低粗饲料水平（50.7%）和高粗饲料水平（62.3%）饲粮时，奶牛均挑食短粒度饲粮，且挑食行为在饲喂低粗饲料水平饲粮时更加严重。因产奶量不同或泌乳阶段不同，奶牛采用的饲粮精粗比不同，故有必要探究粗饲料水平对奶牛挑食行为的影响规律。本试验通过饲喂奶牛不同粗饲料水平的 TMR，研究其对挑食行为、瘤胃内容物及血清指标的影响，为生产上降低奶牛挑食提供一定的参考。

1　材料与方法

1.1　试验动物

选择 12 头经产荷斯坦牛（其中 4 头安装瘤胃瘘管），平均体重为（629±46） kg，泌乳天数为（119±26） d。试验牛单栏饲养，每天 05:30 和 17:30 进行饲喂，控制剩料量在 10% 以内（鲜重基础）。试验牛于每天 05:00 和 17:00 进行挤奶，全天自由饮水。

1.2　试验饲粮

试验饲粮为 TMR，参照中国奶牛饲养标准[14]进行配制，4 组饲粮的粗饲料水平分别为 40%、50%、60%和 70%。试验牛栏安放舔砖，以确保满足试验牛只的矿物元素需要。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition of nutrient levels experimental diets (DM basis)

项目 Items	饲粮粗饲料水平 Dietary forage level/%			
	40	50	60	70
原料 Ingredients				
玉米青贮 Corn silage	18.8	23.5	28.2	32.9
苜蓿干草 Alfalfa hay	13.3	16.7	20.0	23.3
燕麦干草 Australian oaten hay	3.5	4.4	5.3	6.2
羊草 Chinese wild-rye hay	3.5	4.4	5.3	6.2
玉米 Corn	31.9	25.5	18.6	12.2
麸皮 Wheat bran	16.7	13.2	10.3	6.4
豆粕 Soybean meal	10.3	10.3	10.3	10.8
预混料 Premix1)	2.0	2.0	2.0	2.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels				
干物质 DM	44.8	41.2	41.4	43.7
粗蛋白质 CP	15.2	15.2	15.2	15.2
中性洗涤纤维 NDF	35.4	38.0	40.9	43.4
非纤维性碳水化合物 NFC2)	42.8	40.2	37.2	34.6
酸性洗涤纤维 ADF	17.4	19.9	22.5	25.0
淀粉 Starch	29.6	26.4	23.0	19.7
泌乳净能 NE_L/(MJ/kg) 3	6.86	6.66	6.45	6.24

1) 每千克预混料含有 Per kg premix contained the following: VA 160 000 IU，VD_3 30 000 IU，VE 300 mg，VK_3 30 mg，P 80 mg，Mn 550 mg，Zn 750 mg，食盐 NaCl 80 mg，Ca 200 mg，Cu 400 mg，Fe 1 800 mg。

2) 非纤维性碳水化合物（%）=100-(中性洗涤纤维+粗蛋白质+粗脂肪+粗灰分)。NFC(%)=100-(NDF+CP+EE+Ash).

3) 依据中国奶牛饲养标准[14]估算。Estimated based on *Feeding Standard of Dairy Cattle of P. R. China*.

1.3 试验设计

12 头试验牛随机分为 4 组，每组 3 头牛并确保每组含 1 头瘘管牛。试验采用 4×4 重复拉丁方设计，共 4 期动物试验，每期试验 21 d，其中预试期 13 d，采样期 8 d。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 常规营养指标

样品粗蛋白质（CP）含量的测定采用凯氏定氮法；中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量的测定参考 Van Soest 等[15]提出的方法；干物质（DM）和粗灰分（Ash）含量测定参考张丽英主编的《饲料分析与饲料质量检测技术》[16]；总能（GE）的测定采用全自动氧弹量热仪（Parr 6200，美国）；淀粉含量测定参考 GB/T 20194-2006 的方法。

1.4.2 奶牛挑食行为

每期试验的第 14 天，分别于晨饲后 0、4、8 和 12 h 收集饲粮和剩料样品，使用 4 层（19、8、4 和<4 mm）宾州饲料颗粒分级筛（PSPS，宾夕法尼亚州立大学）测定粒度分布，于 105 ℃烘箱下测定 DM，计算分析奶牛挑食行为。

各层挑食行为=实际采食量(kg/d)/预测采食量(kg/d)[17]；

预测采食量(kg/d)=[投料量（kg/d）×饲粮比例（%）]/[剩料量（kg/d）×剩料比例（%）][2]。

1.4.3 瘤胃液相和固相外流速度

每期试验的第 14 天，参考冯仰廉[18]的方法，使用重铬酸钠和抗坏血酸制备铬标记的羊草，晨饲前，每头瘘管奶牛放入 300 g 标记好的羊草，在饲喂后 4、8、12、16、20、24、28、32、36、40、44、48、54、60、72、84、96、108 和 120 h，直肠取粪，65 ℃烘干，粉碎通过 1.0 mm 筛孔。参考 GB/T 13088-2006，使用分光光度法测定粪中三氧化二铬（Cr_2O_3）含量，将 Cr_2O_3 含量最大的粪样设置为 t=0 时的粪样，其 Cr_2O_3 的含量为 C_0，将以后各时间点时间点（t）和 Cr_2O_3 含量按公式（$C_t=C_0e^{-kt}$）进行最小二乘数据拟合，求出固相外流速度常数 k 值。

每期试验的第 15 天，用钴-乙二胺四乙酸（Co-EDTA）作为标记物，晨饲前，每头瘘管牛瘤胃多位点一次性投入 150 mL 含 18 g Co-EDTA 的水溶液，在投入后 0、2、4、6、8、10、12、14、16、24、30 h，抽取 50 mL 瘤胃液样品，-20 ℃保存，测定时 4 ℃融化，在 10 000 ×*g* 下离心 15 min，取 10 mL 上清液至离心管中。参考 GB/T 13884-2003，使用火焰原子吸收光谱仪测定钴(Co)含量。以 0 h 的瘤胃液 Co 含量为空白对照，将以后各时间点（*t*）及其相应 Co 含量的自然对数[ln(*Ct*)]按公式[ln(*Ct*)=k*t*+a]进行线性回归，回归直线的斜率 k 即为瘤胃液稀释率(%/h)。相应地，瘤胃液外流速度(L/h)=瘤胃液稀释率(%/h)×瘤胃液体积(L)。

1.4.4　粪样粒度

每期试验的第 16~17 天，采集牛只新鲜粪样，使用粪便分析筛（Nasco 公司，美国）进行粪便粒度分析。

1.4.5 血清指标

每期试验第 20 天，晨饲前颈静脉采血，37 ℃水浴 60 min，离心机 2 720×*g* 离心 15 min，分离血清，测定血清指标。β-羟丁酸（β-OHB）含量指标采用南京建成生物科技有限公司试剂盒，胰岛素（INS）、生长激素（GH）、胰高血糖素（GCG）和胰岛素样生长因子-1（IGF-1）含量采用天津九鼎生物制品有限公司试剂盒，瘦素（LEP）、胰高血糖素样肽-1（GLP-1）和 5-羟色胺（5-HT）含量采用上海信然试剂公司试剂盒，以上指标均使用酶联免疫吸附测定法（ELISA）在酶标仪（ELx800，Bio-Tek 公司，美国）上进行测定。非酯化脂肪酸（NEFA）含量采用南京建成生物工程研究所试剂盒，利用比色法在可见分光光度计（UV757CRT/PC，上海精密科学仪器有限公司）上测定。

1.4.6　瘤胃内容物成分和粒度

每期试验的第 21 天，将全部瘤胃内容物取出，放入保温方形大塑料桶内，混合均匀后称重并取样，一部分样品使用 PSPS 测定粒度，另一部分置于烘箱 65 ℃烘干后测定养分含量。

1.5 数据统计分析

数据使用 SAS 9.1 软件 MIXED 过程进行方差分析。所有数据以最小二乘均值呈现。各指标随粗饲料水平的直线、二次曲线和三次曲线反应使用 CONTRAST 语句实现。P<0.05 为差异显著，0.05≤P<0.10 为存在差异趋势。

2 结 果

2.1 饲粮粗饲料水平对奶牛挑食行为的影响

由表 2 可见，饲粮粗饲料水平为 40%时，奶牛喜食粒度≥4 mm 饲粮，厌食粒度<4 mm 饲粮；饲粮粗饲料水平为 50%、60%、70%时，奶牛厌食粒度≥4 mm 饲粮，喜食粒度<4 mm 饲粮。此外，随饲粮粗饲料水平增加，奶牛厌食粒度≥4 mm 饲粮以及喜食粒度<4 mm 饲粮的程度线性增加（P<0.05）。随投料后时间的增加，奶牛对各粒度饲粮的挑食程度逐渐降低。

表 2 饲粮粗饲料水平对奶牛挑食行为的影响 [1)]

Table 2 Effects of dietary forage level on sorting behavior in lactating Holstein cows

项目 Items	饲粮粗饲料水平 Dietary forage level/%				SEM	P 值 P-value[2]		
	40	50	60	70		L[3)]	Q[4)]	C[5)]
19 mm								
4 h	1.24	0.97	1.00	0.97	0.078	0.035 5	0.127 6	0.299 5
8 h	1.07	0.94	0.94	0.96	0.035	0.050 3	0.028 9	0.450 2
12 h	1.03	0.96	0.96	0.98	0.020	0.138 3	0.044 9	0.613 3
8 mm								
4 h	1.05	0.95	0.90	0.96	0.026	0.011 5	0.004 3	0.545 5
8 h	1.04	0.96	0.95	0.98	0.013	0.005 9	0.000 3	0.750 8
12 h	1.02	0.98	0.98	0.99	0.007	0.010 4	0.012 6	0.341 2
4 mm								
4 h	1.19	1.05	0.99	0.90	0.043	<0.000 1	0.577 3	0.516 1
8 h	1.05	1.00	1.00	0.99	0.015	0.018 6	0.134 1	0.263 5
12 h	1.03	0.99	1.01	1.00	0.005	0.008 7	0.010 5	0.002 3
<4 mm								
4 h	0.90	1.02	1.06	1.07	0.030	0.000 6	0.063 1	0.685 8
8 h	0.96	1.04	1.06	1.04	0.013	0.000 4	0.001 9	0.700 7
12 h	0.98	1.02	1.03	1.02	0.007	0.001 2	0.011 5	0.442 4

[1)] 数值=1.00 表示无挑食行为，数值>1.00 表示喜食，数值<1.00 表示厌食。Values of 1.00 indicate no sorting,

values >1.00 indicate sorting for, and values <1.00 indicate sorting against.

2) *P*>0.10 表示影响不显著，*P*<0.05 表示影响显著，0.05≤*P*<0.10 表示有趋势影响。下表同。*P*＞0.10 mean no significant effect, *P*<0.05 mean significant effect, 0.05≤*P*<0.10 mean tendency effect. The same as below.

3) L 为饲粮粗饲料水平的直线反应值。下表同。L mean linear curve calculated value for dietary forage level. The same as below.

4) Q 为饲粮粗饲料水平的二次曲线反应值。下表同。Q mean quadratic curve calculated value for dietary forage level. The same as below.

5) C 为饲粮粗饲料水平的三次曲线反应值。下表同。C mean cubic curve calculated value for dietary forage level. The same as below.

2.2 剩料粒度分布

由图 1 可见，饲粮粗饲料水平对各时间点剩料粒度分布的影响主要发生在<4 mm 和 19 mm 层。随饲喂后时间的增加，19 mm 层的比例逐渐上升，<4 mm 层的比例逐渐降低。

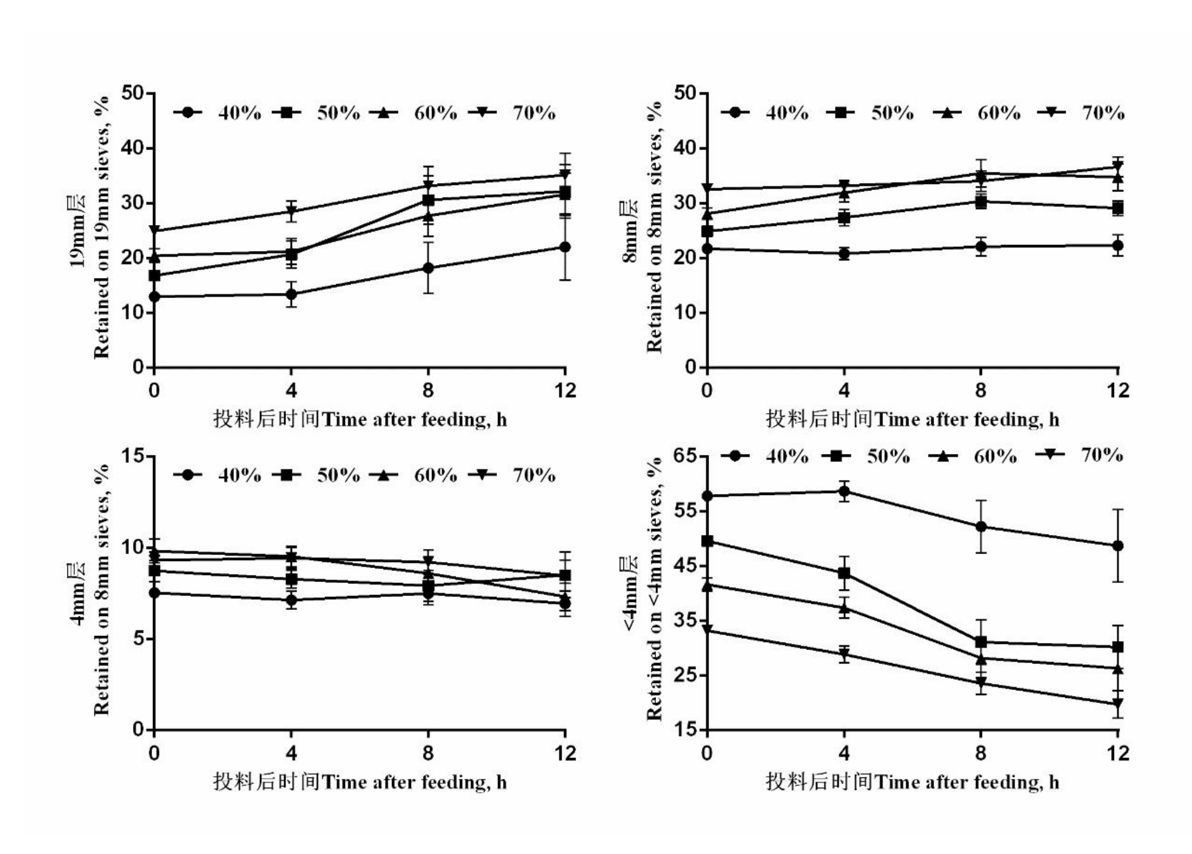


图 1　粗饲料水平对奶牛剩料粒度分布的影响

Fig.1 Effects of dietary forage level on particle size distribution of residual diet in dairy cows

2.3 饲粮粗饲料水平对奶牛瘤胃内容物养分含量及粒度分布的影响

由表 3 可见，饲粮粗饲料水平对瘤胃内容物各层粒度分布无显著影响（P>0.05）。随饲粮粗饲料水平的增加，瘤胃内容物 ADF 含量显著线性增加（P=0.016 3），CP 含量显著线性降低（P=0.003 6），NDF 和 OM 含量无显著变化（P>0.05）。

表 3 饲粮粗饲料水平对奶牛瘤胃内容物养分含量及粒度分布的影响

Table 3 Effects of dietary forage level on nutrient content and particle size distribution in rumen content of dairy cows.

项目 Items	饲粮粗饲料水平 Dietary forage level/%				SEM	*P* 值 *P*-value		
	40	50	60	70		L	Q	C
粒度分布 Particle size distribution/% DM								
19 mm	17.95	18.61	18.12	25.35	4.463	0.304 5	0.475 4	0.662 1
8 mm	14.95	16.77	11.56	13.32	2.905	0.466 7	0.992 1	0.322 2
4 mm	8.41	9.70	9.56	6.78	1.045	0.314 4	0.094 4	0.796 9
<4 mm	58.68	54.92	60.76	54.54	5.053	0.758 2	0.796 9	0.330 0
养分含量 Nutrient content/% DM								
酸性洗涤纤维 ADF	37.18	36.61	38.51	41.39	1.295	0.016 3	0.129 9	0.744 7
中性洗涤纤维 NDF	72.58	70.86	72.55	69.93	1.452	0.371 8	0.764 4	0.279 4
粗蛋白质 CP	15.91	15.09	15.26	14.80	0.175	0.003 6	0.288 5	0.056 8
有机物 OM	91.63	91.87	92.08	90.96	0.543	0.259 2	0.080 6	0.403 8

2.4 饲粮粗饲料水平对奶牛瘤胃固相和液相外流速度的影响

由表 4 可见，随饲粮粗饲料水平的增加，瘤胃固相外流速度、瘤胃液外流速度及瘤胃液稀释率显著线性增加（P<0.05），瘤胃内容物重量和瘤胃液体积无显著变化（P>0.05）。

表 4 饲粮粗饲料水平对奶牛瘤胃固相和液相外流速度的影响

Table 4 Effects of dietary forage level on rumen solid and liquid passage rate of dairy cows.

项目 Items	饲粮粗饲料水平 Dietary forage level/%				SEM	*P* 值 *P*-value		
	40	50	60	70		L	Q	C

瘤胃内容物重量 Rumen content weight/kg	89.96	87.75	86.49	94.98	6.458	0.310 4	0.102 7	0.505 7
瘤胃内容物干物质重量 Rumen content DM weight/kg	14.31	13.69	13.66	13.49	1.358	0.283 6	0.647 9	0.741 2
瘤胃液体积 Rumen liquid volume/L	75.65	74.06	72.83	81.48	5.172	0.191 5	0.083 5	0.421 6
瘤胃液外流速度 Rumen liquid outflow velocity/(L/h)	8.61	8.42	9.72	11.08	0.533	0.010 7	0.197 6	0.570 6
瘤胃液稀释率 Rumen liquid dilution rate/(%/h)	11.52	11.48	13.35	13.96	1.151	0.041 5	0.697 6	0.406 1
瘤胃固相外流速度 Rumen solid outflow velocity/(%/h)	2.42	2.90	3.52	3.25	0.291	0.042 1	0.213 1	0.416 7

2.5 饲粮粗饲料水平对奶牛粪样粒度分布的影响

由表 5 可见，饲粮粗饲料水平对奶牛粪样各层粒度分布无显著影响（*P*>0.05）。

表 5 饲粮粗饲料水平对奶牛粪样粒度分布的影响

Table 5 Effects of dietary forage level on particle size distribution in feces of dairy cows

项目 Items	饲粮粗饲料水平 Dietary forage level/%				SEM	*P* 值 *P*-value		
	40	50	60	70		L	Q	C
4.76 mm	19.84	16.67	16.49	19.67	3.289	0.959 0	0.294 7	0.979 0
2.38 mm	5.57	5.80	6.13	5.30	0.905	0.897 4	0.530 2	0.739 5
1.59 mm	68.59	62.57	63.13	66.34	3.891	0.711 4	0.226 0	0.813 5

2.6 饲粮粗饲料水平对奶牛血清指标的影响

由表 6 可见，随饲粮粗饲料水平的增加，血清 IGF-1 含量显著线性增加（*P*=0.001 9），血清 5-HT、β-OHB、GLP-1 和 GCG 含量无显著变化（*P*＞0.05），血清 LEP 和 NEFA 含量有线性增加的趋势（*P*=0.060 4、*P*=0.080 0），血清 GH 和 INS 含量有线性降低的趋势（*P*=0.074 3、*P*=0.096 4）。

表 6 饲粮粗饲料水平对奶牛血清指标的影响

Table 6 Effects of dietary forage level on serum indicators of dairy cows.

项目 Items	饲粮粗饲料水平 Dietary forage level/%	*P* 值 *P*-value

	40	50	60	70	SEM	L	Q	C
5-羟色胺 5-HT/(ng/mL)	201.69	224.49	207.02	221.45	22.327	0.521 9	0.773 6	0.274 5
β-羟丁酸 β-OHB/(μmol/mL)	1.33	1.26	1.23	1.27	0.069	0.242 3	0.201 4	0.929 9
瘦素 LEP/(ng/mL)	13.96	15.50	14.65	19.22	2.280	0.060 4	0.373 7	0.307 8
胰高血糖素样肽-1 GLP-1/(pg/mL)	581.29	570.53	461.28	679.03	100.430	0.648 8	0.214 5	0.298 1
非酯化脂肪酸 NEFA/ (μmol/L)	246.95	330.23	333.58	351.40	39.987	0.080 0	0.402 3	0.587 0
生长激素 GH/(ng/mL)	2.50	1.96	2.08	2.09	0.172	0.074 3	0.045 5	0.184 9
胰岛素 INS/(uIU/mL)	9.42	8.78	6.50	7.11	1.315	0.096 4	0.601 3	0.399 3
胰高血糖素 GCG/(pg/mL)	249.29	253.63	254.71	257.36	10.810	0.350 8	0.887 8	0.857 0
胰岛素样生长因子 IGF-1/(ng/mL)	9.62	9.57	14.46	18.94	2.478	0.001 9	0.278 1	0.561 8

3 讨 论

3.1 饲粮粗饲料水平对奶牛挑食行为的影响

奶牛对 TMR 的挑食行为是生产上普遍关注的问题。在泌乳周期内，饲喂奶牛 TMR 的精粗比通常不同，因此本试验研究了饲粮粗饲料水平对奶牛挑食行为的影响，发现奶牛对不同粗饲料水平的饲粮均有不同程度的挑食。饲粮粗饲料水平为 50%~70%时，奶牛喜食粒度<4 mm 饲粮，厌食≥4 mm 饲粮，这与 Maulfair 等[17]、Devries 等[3]、Leonardi 等[2]、Leonardi 等[10]的研究结果相一致。因饲粮粒度≥4 mm 的主要为粗饲料，粒度<4 mm 的主要为精饲料，故以上结果表明奶牛具有喜食精饲料、厌食粗饲料的习性。此外，饲粮粗饲料水平为 50%~70%时，随粗饲料水平的增加，奶牛喜食精料的程度显著线性增加，而 Devries 等[3]发现，饲粮粗饲料水平较低时，奶牛挑食精料的程度较大。造成结果分歧的原因可能与试验间采用的粗饲料来源不同有关，本试验采用的粗饲料为全株玉米青贮、苜蓿、燕麦和羊草，而 Devries 等[3]采用的粗饲料为玉米青贮和牧草青贮。此外，Leonardi 等[19]发现，投料量是影响奶牛挑食程度的重要因素，而本试验严格控制剩料量在鲜重基础上 10%以内。Leonardi 等[20]发现，向 DM 水平较高（80%）的饲粮中添加水，增加饲粮湿度能够显著降低奶牛的挑食行为。值得注意的是，Leonardi 等[20]增加饲粮湿度后，饲粮 DM 水平仍高达 64%，显著高于本试验采用的饲粮 DM 水平（平均 42.8%）。此外，本试验中各饲粮 DM 水平较为统一，饲

粮 DM 可能不是本研究中影响奶牛挑食的主要因素。因此，未来研究有必要探究饲粮 DM 水平如何影响奶牛挑食行为。与饲粮粗饲料水平为 50%~70%时的结果相反，饲粮粗饲料水平为 40%时，奶牛喜食粒度≥4 mm 饲粮，厌食粒度<4 mm 饲粮。造成此结果的原因可能与奶牛饲喂粗饲料水平为 40%饲粮时存在 SARA 有关，为缓解较低的瘤胃 pH 并维持瘤胃内环境稳定，奶牛反馈性选择以粗饲料为主的长粒度饲粮。尽管目前预示奶牛存在 SARA 的瘤胃 pH 临界值存在争议，但瘤胃 pH 在 5.60~5.80 以下常作为奶牛存在 SARA 的标志[21]。而本试验中，饲粮粗饲料水平为 40%时，瘤胃 pH<5.80 的时间为 7.9 h/d，显著高于其他组，详细数据见已发表文献[24]。

3.2 饲粮粗饲料水平对剩料粒度分布的影响

饲粮粗饲料水平对各时间点剩料粒度分布的影响在一定程度上能够直接反映奶牛的挑食行为[17]。投料后，剩料粒度变化主要发生 19 mm 层和<4 mm 层。随投料后时间的增加，剩料粒度≥19 mm 的比例逐渐增加，粒度<4 mm 的比例显著降低。该结果直观说明奶牛喜食粒度<4 mm 且厌食粒度≥19 mm 饲粮，进而导致粒度 19 mm 的剩料比例增加，粒度<4 mm 的剩料比例减少。但是采用剩料粒度分布作为反映奶牛挑食行为的直观指标存在一定问题。如粗饲料水平为 40%时，随投料后时间的增加，粒度≥19 mm 的剩料比例逐渐增加，粒度<4 mm 的剩料比例显著降低。该结果与奶牛喜食粒度≥4 mm 饲粮，厌食粒度<4 mm 饲粮的结果相矛盾。造成矛盾的原因可能与奶牛挑食行为受剩料量的影响有关，例如，剩料量很少的情况下，即使剩料粒度变化很大，但对奶牛挑食行为的计算值影响很小。因此，以实际采食量与预测采食量的比值作为反映奶牛挑食行为的指标更准确。

3.3 饲粮粗饲料水平对瘤胃内容物养分含量和粒度及粪样粒度的影响

粗饲料水平对瘤胃内容物养分含量、粒度以及粪样粒度影响的研究较少。本试验中，4 种饲粮粗饲料水平条件下，瘤胃内容物粒度无显著差异的原因可能与采样时间点有关。内容物样品采集时间为每期试验的第 21 天的晨饲前，瘤胃内容物在奶牛的反刍活动下可能已被

充分切短。而在瘤胃内容物养分含量方面，随粗饲料水平增加，瘤胃内容物 ADF 含量显著线性增加，CP 含量显著线性降低，而 NDF 含量无显著差异。此结果可能与奶牛 ADF 采食量显著线性增加，CP 采食量显著线性降低以及 NDF 采食量无显著差异有关[22]。此外，本试验中，粪样各层粒度分布不受饲粮粗饲料水平的影响，该结果需要在未来研究中进一步验证。

3.4 饲粮粗饲料水平对奶牛瘤胃固相和液相外流速度的影响

Cassida 等[23]研究发现，奶牛唾液分泌量对瘤胃液外流速度起决定性作用。本试验中，瘤胃液外流速度随饲粮粗饲料水平的增加显著线性增加，但全天唾液分泌量仅数值上增加[22]，可能与试验间采用的唾液分泌量测定方法不同有关。本试验中，瘤胃内容物重量和瘤胃液体积随饲粮粗饲料水平增加呈二次曲线变化的趋势，而 Maekawa 等[24]研究发现有线性增加的趋势。此外，瘤胃固相外流速度随饲粮粗饲料水平增加显著线性增加，此结果与 Zebeli 等[25]认为粗饲料有助于增加瘤胃垫的厚度和稠度进而增加固相内容物瘤胃滞留时间的观点不一致。因此，饲粮粗饲料水平对瘤胃固相及液相外流速度的影响可能受测定方法、动物自身等因素的影响，未来研究有必要进一步进行阐明。

3.5 饲粮粗饲料水平对奶牛血清指标的影响

GH 能够增强动物食欲，调节能量平衡[26]。本试验中，随饲粮粗饲料水平的增加，GH 含量线性降低的趋势与奶牛采食量显著线性降低的结果[22]相一致。LEP 作为一种 *LEP* 基因的编码产物，对食物摄入和能量平衡具有重要的调节作用[27]。Morton 等[28]用小鼠研究 LEP 对短期采食量和饱感信号感应的影响，证实 LEP 对采食量有重要调控作用，可通过抑制下丘脑神经肽 Y（*NPY*）的表达来抑制摄食。本试验中，血清 LEP 含量线性增加的趋势伴随奶牛采食量显著线性降低的结果进一步证实 LEP 是抑制动物采食因子。此外，本试验中，随饲粮粗饲料水平增加，血清 IGF-1 含量显著线性增加，血清 INS 含量有线性降低的趋势。而 Relling 等[29]在观察到采食量下降的同时，同样发现血清 IGF-1 含量的增加和 INS 含量的减少。以上结果表明，IGF-1 和 INS 也是动物采食量的重要调控因子。相应地，奶牛采食量

的变化同样影响血清指标，随饲粮粗饲料水平的增加，奶牛采食量显著线性降低，造成瘤胃内可发酵有机物减少，引起瘤胃内丙酸浓度降低[22]，进而降低肝脏糖异生和血清 INS 含量[30]。

4 结 论

① 饲粮粗饲料水平为 40%时，奶牛喜食粒度≥4 mm 饲粮，厌食粒度<4 mm 饲粮，但粗饲料水平为 50%~70%时，奶牛厌食粒度≥4 mm 饲粮，喜食粒度<4 mm 饲粮。

② 饲粮粗饲料水平不影响瘤胃内容物粒度、重量和体积，但显著影响瘤胃液相和固相的外流速度。

参考文献：

[1] 李继伟,林雪彦,王云,等.全混合日粮饲喂泌乳奶牛群摄入养分偏离的原因分析及对生产性能的影响[J].动物营养学报,2016,28(4):1208–1216.

[2] LEONARDI C,ARMENTANO L E.Effect of quantity,quality,and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(2):557–564.

[3] DEVRIES T J,BEAUCHEMIN K A,VON KEYSERLINGK M A G.Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(12):5572–5579.

[4] KONONOFF P J,HEINRICHS A J,LEHMAN H A.The Effect of corn silage particle size on eating behavior,chewing activities,and rumen fermentation in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(10):3343–3353.

[5] MAULFAIR D D,ZANTON G I,FUSTINI M,et al.Effect of feed sorting on chewing behavior,production,and rumen fermentation in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2010,93(10):4791–4803.

[6] STONE W C.Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2004,87(Suppl.1):E13–E26.

[7] COOK N B,NORDLUND K V,OETZEL G R.Environmental influences on claw horn lesions associated with laminitis and subacute ruminal acidosis in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2004,87(Suppl.1):E36–E46.

[8] 李延涛,闫瑞,胡志勇,等.全混合日粮粒度对奶牛采食、咀嚼活动和生产性能的影响[J].动物营养学报,2017,29(1):298–308.

[9] ALAMOUTI A A,ALIKHANI M,GHORBANI G R,et al.Effects of inclusion of neutral detergent soluble fibre sources in diets varying in forage particle size on feed intake,digestive processes,and performance of mid-lactation Holstein cows[J].Animal Feed Science and Technology,2009,154(1/2):9–23.

[10] LEONARDI C,SHINNERS K J,ARMENTANO L E.Effect of different dietary geometric mean particle length and particle size distribution of oat silage on feeding behavior and productive performance of dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2005,88(2):698–710.

[11] ONETTI S G,REYNAL S M,GRUMMER R R.Effect of alfalfa forage preservation method and particle length on performance of dairy cows fed corn silage-based diets and tallow[J].Journal of Dairy Science,2004,87(3):652–664.

[12] BHANDARI S K,LI S,OMINSKI K H,et al.Effects of the chop lengths of alfalfa silage and oat silage on feed intake,milk production,feeding behavior,and rumen fermentation of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2008,91(5):1942–1958.

[13] DEVRIES T J,HOLTSHAUSEN L,OBA M,et al.Effect of parity and stage of lactation on feed sorting behavior of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2011,94(8):4039–4045.

[14] 中华人民共和国农业部.NY/T 34–2004 奶牛饲养标准[S].北京:中国标准出版,2004.

[15] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent

fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[16] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,2002.

[17] MAULFAIR D D,HEINRICHS A J.Effects of varying forage particle size and fermentable carbohydrates on feed sorting,ruminal fermentation,and milk and component yields of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2013,96(5):3085–3097.

[18] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[19] LEONARDI C,ARMENTANO L E.*Short communication*:feed selection by dairy cows fed individually in a tie-stall or as a group in a free-stall barn[J].Journal of Dairy Science,2007,90(5):2386–2389.

[20] LEONARDI C,GIANNICO F,ARMENTANO L E.Effect of water addition on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2005,88(3):1043–1049.

[21] BEAUCHEMIN K A,YANG W Z,RODE L M.Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity,ruminal fermentation,and milk production[J].Journal of Dairy Science,2003,86(2):630–643.

[22] JIANG F G,LIN X Y,YAN Z G,et al.Effect of dietary roughage level on chewing activity,ruminal pH,and saliva secretion in lactating Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2017,100(4):2660–2671.

[23] CASSIDA K A,STOKES M R.Eating and resting salivation in early lactation dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1986,69(5):1282–1292.

[24] MAEKAWA M,BEAUCHEMIN K A,CHRISTENSEN D A.Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities,saliva production,and ruminal pH of lactating

dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2002,85(5):1165–1175.

[25] ZEBELI Q,ASCHENBACH J R,TAFAJ M,et al.*Invited review*:role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2012,95(3):1041–1056.

[26] 张忠远,冯自科,马学会.不同种类动物采食量的调控与调控因子[J].黑龙江畜牧兽医,2003(7):56–57.

[27] 殷正艳.补饲脂肪酸钙及其与粗饲料质量互作对泌乳早期奶牛采食量及生产性能影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2013.

[28] MORTON G J,BLEVINS J E,WILLIAMS D L,et al.Leptin action in the forebrain regulates the hindbrain response to satiety signals[J].The Journal of Clinical Investigation,2005,115(3):703–710.

[29] RELLING A E,REYNOLDS C K.Feeding rumen-inert fats differing in their degree of saturation decreases intake and increases plasma concentrations of gut peptides in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(3):1506–1515.

[30] ZHANG Q,KOSER S L,BEQUETTE B J,et al.Effect of propionate on mRNA expression of key genes for gluconeogenesis in liver of dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2015,98(12):8698–8709.

Effects of Forage Level of Total Mixed Ration on Sorting Behavior, Rumen Content and Serum Indicators of Dairy Cows

JIANG Fugui[1,2,3] LIN Xueyan[1] YAN Zhengui[1] HOU Qiuling[1] WANG Yun[1] HU Zhiyong[1] WANG Zhonghua[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China;* 2. *Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan* 250100, *China;* 3. *Shandong Key Lab of Animal Disease Control and Breeding, Jinan* 250100, *China*)

Abstrast: This experiment was conducted to study the effects of forage level of total mixed ration on sorting behavior, rumen content and serum indicators of dairy cows. Twelve multiparous Holstein dairy cows [body weight was (616.8±44.3) kg] at mid-lactation [days in milk was (119±26) d] were randomly assigned to 4 groups in a 4×4 Latin square experiment with one cow surgically fitted with rumen cannula in each group. Cows were fed total mixed rations containing 40%, 50%, 60% and 70% roughage (dry matter basis), respectively.There were 4 stage animal tests, each stage lasted for 21 days. The results showed that dietary forage level significantly affected sorting behaviour of cows (P<0.05 or P<0.01). Cows sorted particles retained above 4 mm sieves and sorted against particles retained below 4 mm sieves when dietary forage level was 40%; However, cows sorted particles retained below 4 mm sieves and sorted against particles retained above 4 mm sieves when dietary forage level was greater than 40%. Dietary forage level did not affect the particle size distribution in rumen (P>0.05). When dietary forage level increased, the rumen liquid outflow velocity and rumen solid outflow velocity were linearly increased (P<0.05), but the rumen content weight and rumen liquid volume did no changed (P>0.05), the serum insulin like growth factor-1 (IGF-1) content was linearly increased (P<0.05), the contents of leptin (LEP) and non esterified fatty acids (NEFA) in serum tended to increase (0.05≤P<0.10), and the contents of growth hormone (GH) and insulin (INS) in serum tended to decrease (0.05≤P<0.10). In conclusion, dietary forage level is an

important factor on sorting behavior, rumen content and serum indicators.

Key words: dairy cow; dietary forage level; sorting behavior; rumen content; serum indicators

*Corresponding author, professor, E-mail: zhwang@sdau.edu.cn （责任编辑　武海龙）